

(11)Publication number : 11-074622

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-234882

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 29.08.1997

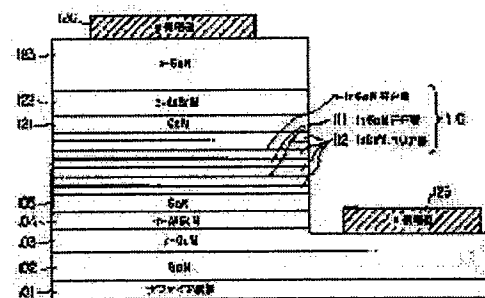
(72)Inventor : SUGIURA RISA
ISHIKAWA MASAYUKI

(54) NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR LUMINOUS ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress carrier overflow and re-coupling probability drop for reduced threshold current when an SCH (separate confinement hetero structure) structure is employed.

SOLUTION: Relating to a nitride group semiconductor laser comprising an SCH structure wherein an InGaN group active layer 110 of multiplex quantum well structure wherein an InGaN well layer 111 and an InGaN barrier layer 112 are alternately laminated on a sapphire substrate 101 is sandwiched between a pair of GaN optical guide layers 105 and 121, which is further sandwiched between a pair of AlGaN clad layers 104 and 122 of p-type and n-type, one of those closest to the p-type AlGaN clad layer 122, among the InGaN well layer 111 of multiplex quantum well structure constituting the active of layer 110, is made to be n-type layer by silicon heavy doping.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3311275

[Date of registration] 24.05.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸構造の井戸層の一部を、p型クラッド層に近い方から順にn型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項2】基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸構造の井戸層の一部を、n型クラッド層に近い方から順にp型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項3】基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸の井戸層を、p型クラッド層に近い方から順に一部n型不純物が添加された半導体層にし、かつn型クラッド層に近い方から順に一部p型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】前記多重量子井戸構造の活性層は、一对の光閉じ込め層で挟まれていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の窒化物系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理、光通信、光計測などの技術分野で用いられる窒化物系半導体発光素子に係わり、特に分離閉じ込めヘテロ構造（SCH: Separate Confinement Heterostructure）を有する窒化物系半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、短波長発光素子の需要が高まり、ZnSe系或いはGaN系材料を用いた短波長発光素子の研究開発が活発に行われている。ZnSe系材料では発振波長500nm前後の短波長半導体レーザの室温連続発振が達成されているが、結晶欠陥の増殖に起因する素子劣化が問題となり、素子の長寿命化が達成できず、実用化には至っていない。

【0003】一方、GaN系材料では近年、青色発光ダイオード（LED）が実用化され、現在GaN系青色半導体レーザの研究開発が精力的に行われている。また最近、GaN系半導体レーザにおいても室温連続発振が達成されたが、この材料系においては、いまだ物性に関して未知な部分が多く、実用化に際して解決すべき問題も多い。その主なものとして、しきい値電流が高いという問題がある。

【0004】GaN系青色半導体レーザでは、従来、p

型及びn型伝導を有するAlGaNクラッド層の間に、多重量子井戸構造（MQW）を有するInGaN系活性層を有するSCH構造が多く用いられている。この場合のしきい値電流が高い理由として、電子やホールキャリアが多重量子井戸の中に有効に閉じ込められず、オーバーフローしてしまうことや、電圧を印加した際に生じる内部電界のために電子とホールが異なった井戸層に局在してしまい、再結合する確率が下がってしまうことなどが挙げられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、SCH構造を採用した窒化物系半導体発光素子においては、キャリアのオーバーフローや再結合確率の低下を招き、これがしきい値電流の低下を妨げる要因となっていた。

【0006】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、SCH構造を採用した場合のキャリアのオーバーフローや再結合確率の低下を抑制することができ、しきい値電流の低減をはかり得る窒化物系半導体発光素子を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

（構成）上記課題を解決するために本発明は、基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸構造の井戸層の一部を、p型クラッド層に近い方から順にn型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする。

【0008】また本発明は、基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸構造の井戸層の一部を、n型クラッド層に近い方から順にp型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする。

【0009】また本発明は、基板上に、多重量子井戸構造の活性層をp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子において、前記活性層を構成する多重量子井戸の井戸層を、p型クラッド層に近い方から順に一部n型不純物が添加された半導体層にし、かつn型クラッド層に近い方から順に一部p型不純物が添加された半導体層にしてなることを特徴とする。

【0010】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

- (1) 多重量子井戸構造の活性層は、クラッド層よりも内側の一对の光閉じ込め層で挟まれていること。
- (2) 活性層を構成する多重量子井戸構造は、InGaN系材料であること。
- (3) 光閉じ込め層はGaNであること。
- (4) クラッド層はAlGaNであること。

(5) 基板は、サファイア又はSiCであること。

【0011】(作用) 前述したようにSCH構造を有する窒化物系半導体発光素子において、キャリアを電氣的に注入した場合、例えばレーザ発振に必要なだけの十分な反転層が量子井戸の中で形成されるためには、かなり高い注入電流(しきい値電流)を必要とする。しきい値電流を下げるために、注入井戸層のエネルギー深さを深くして井戸内のキャリア密度を上げることが有効と考えられるが、そのためにはInGa_N井戸層のIn組成を増やさねばならない。ところが、In組成を20~30%若しくはそれ以上に増やことは、InNのスピンダル分解や、モフォロジーの悪化などを引き起こすため、非常に困難である。

【0012】そこで本発明では、p型クラッド層に近い井戸層に高濃度n型ドーピングを施すこと、n型クラッド層に近い井戸層に高濃度p型ドーピングを施すこと、又はこれらの両方を採用することによって、量子井戸の深さを実効的に深くすると共に、クラッド層端で、量子井戸内の電子又はホールエネルギーよりも高いエネルギーの準位密度を増やし、キャリアのオーバーフロー(キャリアがクラッド層を乗り越えて活性層の外側に流れ出すこと)が起きにくくしており、これによりしきい値電流を下げることを可能にしている。

【0013】以下に、p型クラッド層に近い層に高濃度n型ドーピングを施す場合を例にしてその原理を説明する。まず、一番単純な、p型クラッド層に一番近い井戸層を1層だけ高濃度n型ドーピングした場合を考える。

【0014】キャリアのバンドエネルギー図を、図1に示す。この図は、発光させるために素子に電圧を加えた状態を示している。Ga_N系の薄膜を使った半導体レーザでは、一般に発振に要する印加電圧は大きく、図に示すようにn型クラッド層の伝導電子エネルギーの方が大きくなることに注意を要する。

【0015】図1(a)は井戸層に不純物ドーピングしない従来の構造に対応し、図1(b)は井戸層の一つだけにn型不純物ドーピングした本発明の構造に対応する図である。図1(b)においては、井戸層の一つがn型になるため、内部電界を生じてバンドは著しく曲がり、またその領域の井戸層とバリア層の伝導帯端の電子エネルギーが下がる。そして、以下に述べる2つの理由から、このバンドの曲がりにより発振しきい値を下げることに結びつく。

【0016】第1の理由は、図1(b)に示すように実効的に井戸層が深くなるため、井戸層内のキャリア準位が増えると共に、一度井戸層に捕獲されたキャリアが外側に流失することが少なくなるためである。

【0017】次に、第2の理由を述べる。図1(b)に示すように、実効的に井戸層又はバリア層の伝導電子エネルギーとクラッド層の伝導電子エネルギーとの差が大きくなり、クラッド層と量子井戸構造の活性層との境界

部の電子の状態密度が大きくなる。これにより、この部分に存在する電子は、既に井戸層にある電子が再結合して消滅すると、井戸層に落ちて来て、次の再結合に寄与する。従って、クラッド層と量子井戸構造の活性層との境界部の密度が増えると、注入電流を増やさなくても、発光確率が大きくなる(レーザ発振の反転層が形成し易くなる)ので、結果的にしきい値電流密度が下がる。

【0018】なお、活性層の端にクラッド層よりもAl組成の大きいAlGa_Nを薄く設けた構造で、ここで述べた第2の理由と同じ理由で、しきい値が下がる効果が得られる。しかし、1100℃以上の高温でないとい良質なAlGa_N層が成長できない問題があり、一方でInGa_N系活性層成長後の昇温過程において活性層を1100℃以上の高温に晒すことにより、活性層の再蒸発や品質の著しい低下が生じる。また、高Al組成のAlGa_N層を活性層に隣接して形成する場合、活性層に大きな歪みを伴い、素子信頼性の低下につながるため望ましくない。

【0019】本発明によれば、上述のような問題が生じず、よりも簡単な方法で効果が得られる。なお、第2の理由の場合、特にクラッド層に近い側の井戸層での発光確率を高める効果がある。

【0020】また、高濃度ドーピングする井戸層の数を増やすと、伝導帯端の空間的な変化が緩やかになるものの、前記1層のドーピングに準じた効果がある。また、図2(a)に示すように、n型クラッド層に近い井戸層にp型ドーピングする場合もホールに対して同様の効果があり、結果的にしきい値が下がる。さらに、図2(b)に示すように、p型クラッド層に近い井戸層にn型ドーピングし、n型クラッド層に近い井戸層にp型ドーピングすることにより、しきい値の更なる低減をはかることも可能である。

【0021】また、以上述べたものとは別に本発明の構造は、以下の効果も付加的にもたらす。図1に示した状態とは異なるが、印加電圧が小さくn型クラッド層の伝導電子エネルギーがp型クラッド層の伝導電子エネルギーよりも低い場合(他の材料系の半導体レーザでの通常のバンド構造)、電圧を印加した際に生じる内部電界が井戸層へのドーピングによって小さくなる方向に働くので、ホールと電子が違った井戸に局在する効果が少なくなり、各井戸層でキャリアが均等に存在するようになる。この内部電界が小さくなる効果は、井戸層の外側の層(ガイド層など)に高濃度ドーピングする方法で通常得られているが、本発明のように井戸層にドーピングすることでもその効果を実現できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態を参照して説明する。

(実施形態1) 図3は、本発明の第1の実施形態に係わる窒化物系短波長半導体レーザを示す素子構造断面図で

ある。

【0023】本実施形態の半導体レーザは、SCH構造を有している。半導体レーザ用の多層膜は、周知の有機金属気相成長(MOCVD)法により作成した。有機金属原料として、トリメチルガリウム(TMg)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を用いた。ガス原料として、アンモニア(NH₃)、シラン(SiH₄)を用いた。また、キャリアガスとして、水素及び窒素を用いた。

【0024】本実施形態の半導体レーザは、次のようにして製造される。まず、サファイア基板101上に、バッファ層(図示せず)を介して、アンドープGaN下地層102、n型GaNコンタクト層103、厚さ0.25μmのn型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nクラッド層104を順次形成する。

【0025】次いで、光閉じ込め層として厚さ4nmのGaNガイド層105を形成し、厚さ2nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層111と、厚さ4nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層112がそれぞれ4層づつから成る多重量子井戸構造(MQW)を有するInGaN系活性層110を形成する。このとき、一番上側のIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層111を成長する際に、シリコン高濃度ドーピング(n型)を行う。その上部には、p側光閉じ込め層としてGaN光ガイド層121、p型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nクラッド層122、p型GaNコンタクト層123をこの順で形成する。

【0026】また、上記多層構造の一部をn型GaNコンタクト層103までドライエッチング法により除去し、露出したコンタクト層103の上部にTi/Alから成るn側電極125を形成した。また、p型GaNコンタクト層123上にはp側電極126を形成した。

【0027】次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに劈開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この素子に電圧を印加したときのバンド構造について説明する。

【0028】ドーピングした井戸層111の伝導帯端が低くなり、実効的に井戸の深さが深くなり、電子の閉じ込めが強まる。また同時に、クラッド層の端(活性層側)に伝導帯端の窪みができるため、その近傍に存在する電子の平均的な密度が増える。さらに、動作電圧が低い素子では、活性層内部の電界によるバンドの曲がりを弱めることにより、電子と正孔の局在化を緩和できる。このため、量子井戸構造での電子と正孔の再結合の確率が増え、発振に必要な反転層が低い注入電流密度で得られる。

【0029】本実施形態の半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。しきい値電流密度は、井戸層にドーピングしない構造のレーザの

約半分となった。

【0030】このように本実施形態によれば、MQW活性層110の井戸層111のうちp型クラッド層122に最も近い層を高濃度n型層にすることにより、前記図1(b)に示すように井戸の深さを実効的に深くして電子の閉じ込めを効率良く行うことができると共に、クラッド層側に伝導帯端の窪みができるため、その近傍に存在する電子の平均的な密度を増やすことができる。さらに、活性層内部の電界によるバンドの曲がりを弱めることにより、電子と正孔の局在化を緩和できる。従って、SCH構造を採用した場合のキャリアのオーバーフローや再結合確率の低下を抑制することができ、しきい値電流の低減に効果的である。これにより、半導体レーザの省電力化、寿命の向上をはかることもできる。

【0031】(実施形態2)図4は、本発明の第2の実施形態に係わる窒化物系短波長半導体レーザを示す素子構造断面図である。

【0032】半導体レーザ用の多層膜は、第1の実施形態と同様のMOCVD法により作成した。本実施形態の半導体レーザを製造するには、サファイア基板201上にバッファ層(図示せず)を介して、アンドープGaN下地層202、n型GaNコンタクト層203、厚さ0.25μmのn型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nクラッド層204を順次形成する。

【0033】次いで、光閉じ込め層として厚さ5nmのGaNガイド層205を形成し、その上に厚さ2.5nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層211と、厚さ3nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層212がそれぞれ5層づつから成る多重量子井戸構造(MQW)を有するInGaN系活性層210を形成する。このとき、一番下側のIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層211を成長する際に、マグネシウム高濃度ドーピング(p型)を行い、一番上側のIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層211を成長する際に、シリコン高濃度ドーピング(n型)を行う。その上部には、p側光ガイド層221、p型Al_{0.18}Ga_{0.82}Nクラッド層222、p型GaNコンタクト層223をこの順で形成する。

【0034】また、上記多層構造の一部をn型GaNコンタクト層203までドライエッチング法により除去し、露出したコンタクト層203の上部にTi/Alから成るn側電極225を形成した。さらに、p型GaNコンタクト層223上にはp側電極226を形成した。

【0035】次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに劈開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この素子に電圧を印加したときのバンド構造について説明する。

【0036】本実施形態では、p型クラッド層222に近接しているn型ドーピングした井戸層211の伝導帯端が低くなり、実効的に井戸の深さが深くなるため、電

子の閉じ込めが強まる。また、n型クラッド層204に近接しているp型ドーピングした井戸層211の価電子帯端が高くなるため、実効的に井戸の深さが深くなり正孔の閉じ込めが強まる。

【0037】この場合、電子と正孔が高密度になる位置が離れてしまうが、井戸層211へのドーピングにより活性層内部の電界によるバンドの曲がり弱められるので、その影響は小さい。また、p型クラッド層222の端に伝導帯端の窪みが、n型クラッド層204の端に価電子帯の窪みがそれぞれできるため、その近傍に存在する電子の平均的な密度が増えキャリアオーバーフローしにくくなる。

【0038】本実施形態の半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。しきい値電流密度は井戸層にドーピングしない構造のレーザの約半分となった。

【0039】(実施形態3)図5は、本発明の第3の実施形態に係わる窒化物系短波長半導体レーザを示す素子構造断面図である。

【0040】半導体レーザ用の多層膜の形成は、第1の実施形態と同様に、サファイア基板301を用いてMOCVD法で行った。まず、バッファ層302を成長し、次に温度を1100℃まで昇温し、n型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層303を約2μm成長した。これに、温度を1100℃で保持したまま、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層304を約500nmの厚さで形成した後、Ga_{0.53}In_{0.47}N光ガイド層305を約200nmの厚さで形成した。

【0041】次いで、厚さ2nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層311と、厚さ4nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層312がそれぞれ10層づつから成る多重量子井戸構造(MQW)を有するInGa_{0.53}N系活性層310を形成する。このとき、上側から数えて4つのIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層311を成長する際に、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のシリコン高濃度ドーピング(n型)を行った。

【0042】次いで、p側のGa_{0.53}In_{0.47}N光ガイド層321を約200nmの厚さで形成し、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層322を約500nmの厚さで形成した。この状態で室温まで降温し、MOCVD装置から取り出し、周知の熱CVD装置内で表面に幅20μmのSiO₂膜(図示せず)を形成した。

【0043】次いで、ウェハをRIE装置内に置き、開口部をBCl₃ガスによってメサ構造にエッチング除去した。このようにして作成したウェハを再びMOCVD装置内のサセプタ上に載置し、窒素中で1100℃まで昇温した。

【0044】次いで、温度1100℃で、水素、窒素、TMG、アンモニア、DMZ(ジメチルジシラン)を供給して、i型Ga_{0.53}In_{0.47}N層331でn型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電流注入層304からp型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電流注入層322までを埋め込み構造とした。

【0045】このようなi型Ga_{0.53}In_{0.47}N層331の形成を、本実施形態ではメサエッチング後の成長で形成したが、エッチング除去せずに水素や酸素などをイオン注入することによって作成することも可能である。例えば、水素では200keV、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の注入で実現することができる。

【0046】次いで、温度を1100℃で保持したまま、水素を流し、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}N電流注入層322上に残っているSiO₂膜をエッチング除去した。次いで、温度を1100℃で保持したまま、主キャリアガスを水素から窒素へ切り替え、水素、窒素、アンモニアを供給して、p型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層323を約500nmの厚さで形成した。

【0047】このようにして作成したレーザ構造を、MOCVD装置から取り出し、上記多層構造の一部をn型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト303までドライエッチング法により除去し、露出したn型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層303及びp型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層223上にそれぞれ電極325、326を形成した。即ち、周知の真空蒸着法やスパッタ法などを用いて、n型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層303に対しては、Pt、Ni、Auをこの順で形成し、オーミック電極325とした。一方、p型Ga_{0.53}In_{0.47}Nコンタクト層323上には、順にPd、Ti、Pt、Au(厚さ2μm)を形成し、窒素中熱処理を施すことによりオーミック電極326とした。

【0048】次に、このレーザ構造を基板側からスクライバなどを用いてへき開し、共振器ミラーを形成した。このようにして作成した半導体レーザは波長420nmで連続発振した。このときのしきい値電流密度は、井戸層にドーピングしない構造のレーザの約1/3となった。また、井戸層のいくつかに高濃度ドーピングしてあるので、素子全体の抵抗を下げる付加的効果もある。

【0049】また、この構造に加えてn型クラッド層側の井戸層にp型ドーピングするとしきい値低減の効果は更に大きくなる。また、この実施形態では、上側から数えて4つの井戸層のn型ドーピング濃度を全て同じにしてあるが、p型クラッド層322から離れるほど濃度を徐々に低くしていく構造もしきい値低下に対し有効である。

【0050】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。n型クラッド層に近い側のp型ドーピングする井戸層の数、又はp型クラッド層に近い側のn型ドーピングする井戸層の数は、実施形態で説明した数に何等限定されるものではなく、仕様に応じて適宜変更可能である。また、n型クラッド層に近い側のp型ドーピングしてある井戸層の数と、p型クラッド層に近い側のドーピングしてある井戸層の数は違っていても良い。その場合に、第3の実施形態に記したようにドーピング濃度を徐々に変えるようにしてもよい。

【0051】また、実施形態では半導体レーザについて

説明したが、多重量子井戸構造の活性層を一对の光閉じ込め層で挟み、さらにp型及びn型の一对のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有するものであれば、発光ダイオードにも適用できる。

【0052】また、基板はサファイアに限るものではなく、SiC、Si、 $MgAl_2O_4$ 、GaNなどを用いることもできる。さらに、活性層、光閉じ込め層、クラッド層の材料は実施形態に何等限定されるものではなく、仕様に応じて適宜変更可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、活性層を構成する多重量子井戸構造の井戸層の一部を、p型クラッド層に近い方から順にn型層に、又はn型クラッド層に近い方から順にp型層にすることにより、SCH構造を採用した窒化物系半導体発光素子におけるキャリアのオーバーフローや再結合確率の低下を抑制することができ、しきい値電流の低減をはかることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来構造と本発明構造による窒化物系化合物半導体レーザのバンドダイアグラムの違いを示す図。

【図2】本発明の構造におけるバンドダイアグラムの別の例を示す図。

【図3】第1の実施形態に係わるGaN系半導体レーザ

を示す素子構造断面図。

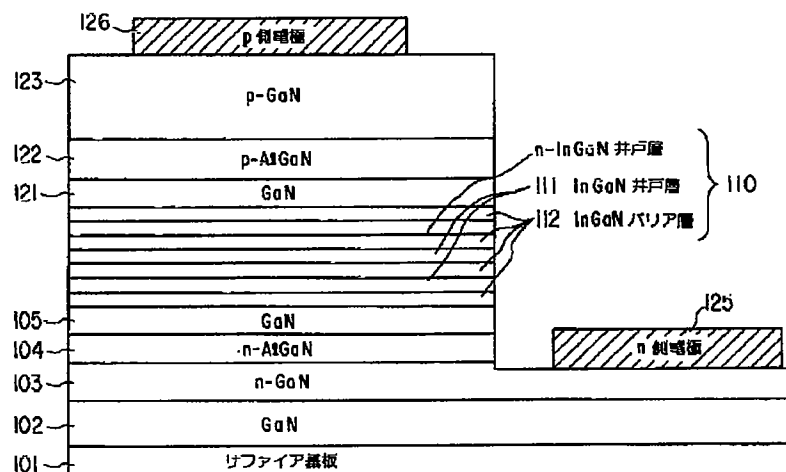
【図4】第2の実施形態に係わるGaN系半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図5】第3の実施形態に係わるGaN系半導体レーザを示す素子構造断面図。

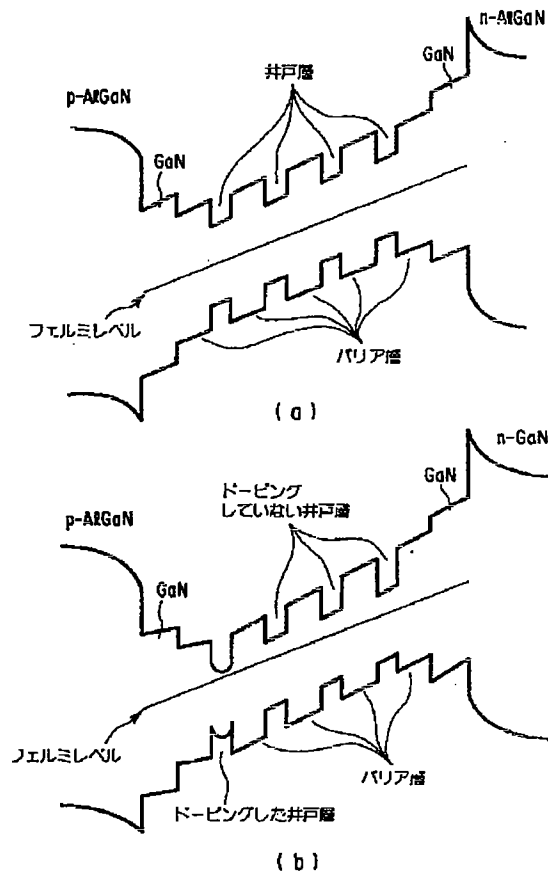
【符号の説明】

- 101, 201, 301...サファイア基板
- 102, 202, 303...アンドープGaN下地層（バッファ層）
- 103, 203, 303...n型GaNコンタクト層
- 104, 204, 304...n型 $Al_{0.18}Ga_{0.82}N$ クラッド層
- 105, 205, 305...n側GaNガイド層（光閉じ込め層）
- 110, 210, 310...InGaN系MQW活性層
- 111, 211, 311... $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ 井戸層
- 112, 212, 312... $In_{0.05}Ga_{0.95}N$ 障壁層
- 121, 221, 321...p側GaN光ガイド層（光閉じ込め層）
- 122, 222, 322...p型 $Al_{0.18}Ga_{0.82}N$ クラッド層
- 123, 223, 323...p型GaNコンタクト層
- 125, 225, 325...n側電極
- 126, 225, 326...p側電極

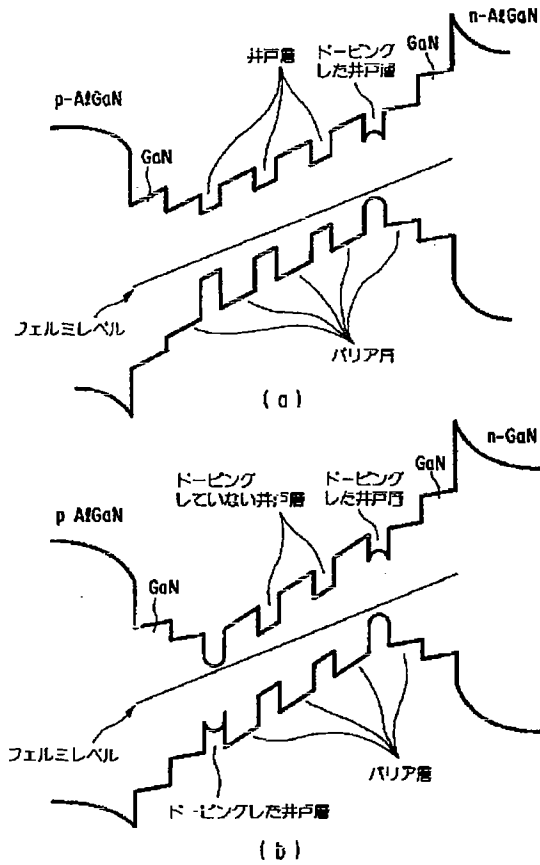
【図3】



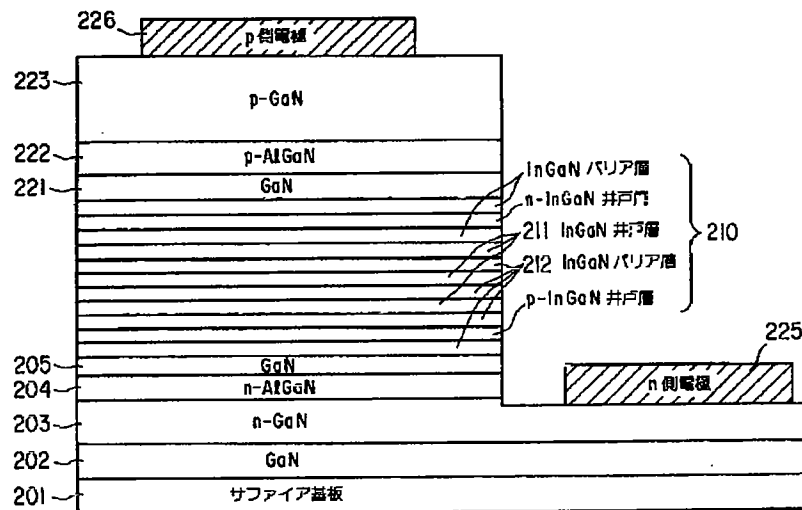
【図1】



【図2】



【図4】



【図5】

